

Avaliação do Ciclo de Vida: Impacto da Compatibilização de Projetos na Pegada de Carbono de Edificações

Life Cycle Assessment: The Impact of Design Coordination on the Carbon Footprint of Buildings

Lucas Carvalho Rodrigues de Castro, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

lucascarvalho.castro@estudante.ufjf.br

Gabriel Diehl de Oliveira, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

gabrieldiehl.oliveira@estudante.ufjf.br

Artur Borges Oliveira Souza, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

artur.borges.souza@gmail.com

Annik Pereira Palha, Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

annik.pereira@estudante.ufjf.br

Amália Vaz Fontes, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

amalia.fontes@estudante.ufjf.br

Resumo

O setor da construção civil contribui de forma significativa para o consumo de recursos naturais e para a emissão de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida das edificações. Este estudo avalia a influência da compatibilização de projetos, por meio da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), na redução da pegada de carbono de edificações. A pesquisa baseia-se em um projeto acadêmico fictício de uma cafeteria de dois pavimentos, com área total de 380 m², modelado em nível de desenvolvimento LOD 300 no software Autodesk Revit. A verificação de interferências entre os projetos estrutural e hidrossanitário foi realizada no Autodesk Navisworks por meio da ferramenta de *clash detection*. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi conduzida na plataforma One Click LCA, comparando um cenário pré-compatibilização e um cenário pós-compatibilização, ajustado com coeficientes de redução de desperdício fundamentados na literatura. Os resultados indicam uma redução aproximada de 18% nas emissões totais de CO₂ equivalente, demonstrando o potencial da integração entre BIM e ACV como apoio à tomada de decisão para projetos mais sustentáveis.

Palavras-chave: *Building Information Modeling*; Avaliação do Ciclo de Vida; Compatibilização.

Abstract

The construction sector significantly contributes to natural resource consumption and greenhouse gas emissions throughout the building life cycle. This study evaluates the impact of project compatibility, using the Building Information Modeling (BIM) methodology, on reducing the carbon footprint of buildings. The research is based on a fictitious academic project of a two-story café building with a total area of 380 m², modeled at Level of Development (LOD) 300 in Autodesk Revit. Interference detection between the structural and plumbing systems was performed in Autodesk Navisworks using the clash detection tool. Life Cycle Assessment (LCA) was carried out in the One Click LCA platform, comparing a pre-compatibility scenario with a post-compatibility scenario adjusted using literature-based waste reduction coefficients. The results indicate an approximate 18% reduction in total CO₂-equivalent emissions, demonstrating the potential of integrating BIM and LCA to support more sustainable design decisions.

Keywords: Building Information Modeling; Life Cycle Assessment; Project Compatibility

1. Introdução

O descarte de resíduos e o aumento da concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera são fatores impactantes na poluição e no desequilíbrio climático global (FILONCHYK, PETERSON, *et al.*, 2024). Entre os principais setores responsáveis, destaca-se a construção civil que, no mundo, é responsável pelo consumo de 50% de toda a matéria-prima e 36% da energia global (TUSHAR, BARI e KHAN, 2022), além de 25% da emissão de dióxido de carbono (CO₂), que são provenientes das edificações durante o desenvolvimento do seu ciclo de vida (CARVALHO, CALDERÓN-MORALES, *et al.*, 2023).

A Análise do Ciclo de vida (ACV) é uma metodologia cujo objetivo é analisar os impactos ambientais de um processo no decorrer de suas etapas, desde a obtenção de materiais até a entrega final (SILVA, 2025). Portanto, a ACV é definida pelas normas internacionais ISO 14040 e ISO 14044, fornecendo a base conceitual e requisitos para as respectivas fases da análise (PRYSHLAKIVSKY e SEARCY, 2013). Sua aplicação na construção civil foi expandida com o avanço de ferramentas computacionais e bases de dados ambientais no início do século XXI, permitindo a avaliação da utilização de materiais, descarte de resíduos e emissões de GEE (ORTIZ, CASTELLS e SONNEMANN, 2009).

Entre as ferramentas desenvolvidas que colaboram para a Análise do Ciclo de Vida, destaca-se o *Building Information Modeling* (BIM), uma metodologia de gestão de modelos digitais tridimensionais e paramétricos que permite a coordenação detalhada das diferentes etapas de projetos (SILVA, 2025). Uma possibilidade do seu uso é na compatibilização dos projetos, etapa de visualização e verificação de interferência entre as disciplinas do projeto, que otimiza a integração dos projetos antes da execução, reduzindo gastos com correções durante a execução da obra (MATTANA, LIBRELOTTO e GNECCO, 2019).

A aplicação integrada das metodologias BIM e ACV fornece uma estratégia eficaz para a redução dos impactos ambientais na construção civil, a partir da modelagem e avaliação quantitativa dos recursos gerenciados, obtendo uma base técnica para decisões sustentáveis que tangem tanto a substituição de materiais quanto alterações diretas nos

projetos das diferentes disciplinas (FAGUNDES e TAVARES, 2025).

Diante do cenário apresentado, o seguinte estudo tem como objetivo a utilização das metodologias BIM e ACV para uma avaliação de projeto de construção civil, em que, com auxílio dos softwares Autodesk Navisworks, Autodesk Revit e o plugin One Click LCA, serão determinadas abordagens sustentáveis para a diminuição de gastos de recursos e produção de resíduos, a otimização de carbono, e verificar quantitativamente os benefícios da aplicação dos métodos mencionados.

2. Referencial Teórico

2.1. Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um projeto é uma ferramenta capaz de medir o impacto ambiental gerado por todos procedimentos e materiais usados em todo o ciclo de vida de uma construção. Essa metodologia quantifica a eficiência de uma obra em nível ambiental, por meio de um indicador de porcentagem de $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ (quilogramas de dióxido de carbono por metro quadrado) e da quantidade de energia consumida, em MJ/m^2 (megajoules por metro quadrado) construído (LAGARDE, ROBILLART, *et al.*, 2024). Com auxílio das recentes tecnologias digitais, como o BIM, os dados são integrados para que a ACV seja executada desde as fases iniciais do projeto.

Atualmente, o impacto negativo ao meio ambiente gerado por construções, não se dá somente nas fases de construção, uso e demolição. Esses impactos estão intrínsecos em cada material, no metro cúbico de água utilizado na obra, na fonte de matéria-prima e principalmente no transporte das ferramentas e materiais da obra (RODRIGUES, 2017). Nesse sentido, o estudo de energia total gasta no ciclo de vida de um edifício inclui a energia incorporada e a energia operacional. Em que a primeira entende-se como a soma de toda a energia necessária para fabricação dos materiais, podendo ou não incluir a energia da matéria-prima utilizada na fabricação dos materiais, e a segunda, como a energia usada durante a fase operacional da construção.

2.2. One Click LCA

A One Click LCA, plataforma de software baseada na nuvem para Análise do Ciclo de Vida (ACV), é consideravelmente completa ao contabilizar todas as fases de um projeto na sua análise. A ferramenta apresenta grande base de dados de diferentes materiais de construção, não apenas os que possuem Declarações Ambientais de Produtos (EPDs), calcula os impactos ambientais e o custo social em diferentes etapas do projeto e ainda permite comparar cenários ao mudar valores de um mesmo projeto (DERVISHAJ e GUDMUNDSSON, 2024).

Ao iniciar o programa, é necessário inserir informações do projeto para que haja uma padronização dos valores, os quais serão usados no cálculo de emissão de carbono. Para isso, é informado em qual etapa de construção o projeto se encontra, a ferramenta que será necessária para o estudo, os tipos de projetos que serão analisados e a estrutura da

edificação.

O sistema integrado da *One Click* inclui estágios considerados determinantes na ACV, sendo eles: (A1-A3: matérias-primas, transporte, fabricação), Construção (A4-A5: transporte, construção), Uso (B1-B7: uso, manutenção, reparo, substituição, reforma, consumo de energia e água), Fim de Vida (C1-C4: desconstrução, transporte, processamento de resíduos, disposição), além do ciclo de vida do edifício (D: benefícios de reciclagem e reutilização). Com base nos dados da planilha de materiais extraídos do software usado, os estágios são contabilizados conforme parâmetros normativos, obtendo-se as emissões de CO₂ por categoria.

2.3. Compatibilização

A compatibilização de projetos tem como objetivo central assegurar a integração entre as diferentes disciplinas envolvidas, buscando detectar as interferências e erros na fase de concepção, antes que estes sejam percebidos na fase de execução. A ausência dessa etapa crítica pode resultar em inconsistências que, no canteiro de obras, tornam-se retrabalhos e desperdícios, elevando tanto os custos quanto o impacto ambiental devido à geração desnecessária de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

No contexto atual, a metodologia BIM otimiza esse processo por meio de ferramentas de verificação automática, *model checking*, como o Autodesk Navisworks. Por intermédio da ferramenta *clash detective* do software, são identificadas e parametrizadas as interferências físicas e normativas do projeto, possibilitando sua resolução antes da etapa executiva.

Em suma, a aplicação integrada dessas ferramentas tem como objetivo a prevenção de retrabalhos e a consequente redução de resíduos. Simultaneamente, viabiliza um suporte estratégico à tomada de decisão, fundamentando a escolha de materiais com menor pegada de carbono a partir dos resultados obtidos e a análise comparativa de cenários construtivos mais eficientes.

3. Procedimentos Metodológicos

3.1. Caracterização do estudo de caso

O estudo de caso, desenvolvido a partir de um projeto acadêmico fictício, investiga o papel da compatibilização de projetos realizada por meio da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), associada à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), na redução da pegada de carbono das edificações, ao evitar retrabalhos e o desperdício de materiais. Nesta pesquisa, foi feita a compatibilização entre os projetos estrutural e hidrossanitário, em função do elevado número de interferências observadas entre essas disciplinas, de modo a tornar mais evidente a diferença nos valores de emissões calculados antes e após a compatibilização.

O projeto analisado possui caráter acadêmico e foi desenvolvido por membros da Liga Acadêmica de *Building Information Modeling* (LABIM) da Universidade Federal de Juiz de

Fora (UFJF), no ano de 2025. A edificação, concebida para funcionar como uma cafeteria integrada a uma livraria, apresenta dois pavimentos e área construída total de 380 m². A modelagem foi realizada no software Autodesk Revit 2025, adotando-se o nível de detalhamento LOD 300 (Level of Development 300), no qual os elementos do modelo BIM apresentam geometria definida e informações não gráficas associadas, como a especificação dos materiais.

3.2. Ferramentas utilizadas

Além do Autodesk Revit 2025, utilizado na etapa de desenvolvimento do projeto, empregaram-se o software Autodesk Navisworks para a análise de interferências (*clash detection*) entre disciplinas, e a plataforma *One Click LCA* para o cálculo das emissões de carbono.

Para a realização da análise de interferências no Autodesk Navisworks, foi executado o teste de *clash detection* entre as disciplinas estrutural e hidrossanitária – em específico o projeto de esgoto – a partir do qual foram identificadas e listadas as interferências com potencial de gerar retrabalhos na fase de execução, sobretudo as interferências consideradas inadequadas para a execução da obra, tais como tubulações atravessando pilares e vigas.

A plataforma *One Click LCA* foi utilizada para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), em que foi feito o cálculo da pegada de carbono do projeto com base nas EPDs associadas aos materiais empregados, as quais foram obtidas a partir da biblioteca *International EPD System*, em conformidade com as normas ISO 14025 & EN 15804.

3.3. Procedimento para obtenção de resultados

Neste estudo, a análise considerou principalmente os impactos nos estágios A1 a A5 do ciclo de vida dos materiais, abrangendo as fases de extração da matéria-prima, fabricação, transporte e instalação/construção. Por esse motivo, não foram incluídos na análise os consumos operacionais de água e energia ao longo da vida útil do edifício.

Para o cálculo das emissões, os quantitativos dos materiais empregados no projeto e suas respectivas EPDs foram extraídos automaticamente por meio de dados gerados no Autodesk Revit e exportados para a plataforma *One Click LCA* em formato Excel (.xlsx). Desse modo, a avaliação ambiental foi estruturada a partir da criação de dois *designs* distintos, representando cenários contrastantes de desenvolvimento do projeto, sendo eles:

- O Design 1 (cenário de pré-compatibilização) foi configurado utilizando os parâmetros padrão da plataforma, em conformidade com a norma EN 15804+A2. Neste cenário, os quantitativos de materiais foram considerados sem ajustes adicionais relacionados à redução de desperdícios, representando uma situação típica de projetos desenvolvidos sem um processo sistemático de compatibilização.

- O Design 2 (cenário pós-compatibilização) foi configurado a partir dos mesmos quantitativos extraídos do modelo BIM, porém, em conformidade com estudos prévios de Santos e Famá (2023), Hosny (2023) e Aftab (2024), em que foi avaliada a influência de ferramentas BIM, como o *clash detection*, em perdas de materiais e ineficiências logísticas durante a execução da obra, os quantitativos de materiais foram ajustados por meio da aplicação de um coeficiente de redução de 15%. Neste cenário, também foi reduzido o percentual de desperdício de cada material em 70%.

Ressalta-se que os percentuais adotados não representam valores absolutos, mas sim estimativas fundamentadas em literatura, com o objetivo de avaliar o potencial de redução de impactos ambientais decorrente da compatibilização de projetos. Embora não tenham sido realizadas alterações geométricas no modelo BIM após essa etapa, os resultados da detecção de conflitos serviram como base técnica para a definição de cenários comparativos de desempenho ambiental.

Por fim, os resultados obtidos em ambos os cenários foram comparados, com o objetivo de avaliar o impacto da compatibilização de projetos na redução das emissões de CO₂ em projetos de engenharia. A Figura 1 apresenta um fluxograma que sintetiza a sequência de atividades desenvolvidas ao longo da metodologia adotada.

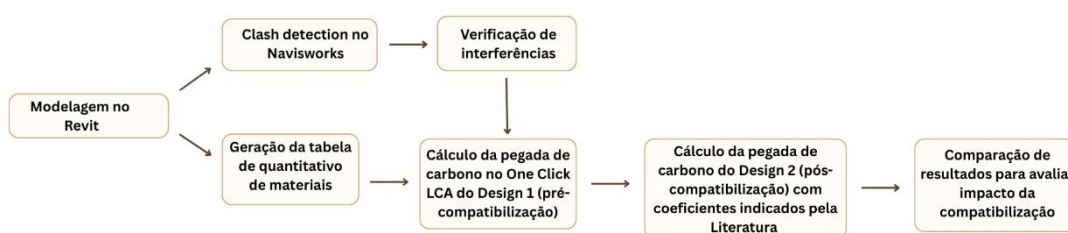


Figura 1: Fluxograma de etapas do estudo. Fonte: Os autores (2026).

4. Resultados

4.1. Verificação de conflitos entre projeto estrutural e hidrossanitário

A partir dos modelos do projeto estrutural e do projeto hidrossanitário, desenvolvidos no Autodesk Revit e exportados para o Autodesk Navisworks, foi realizada a verificação automática de conflitos por meio da ferramenta de *clash detection*, com o objetivo de identificar interferências físicas entre os sistemas analisados.

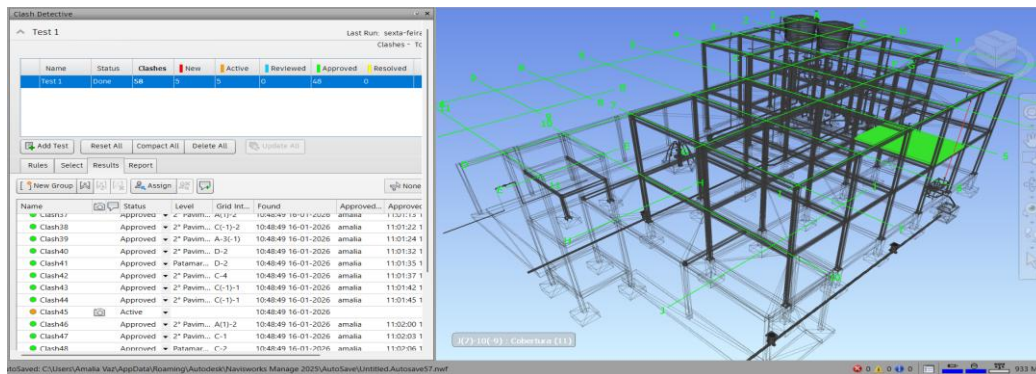
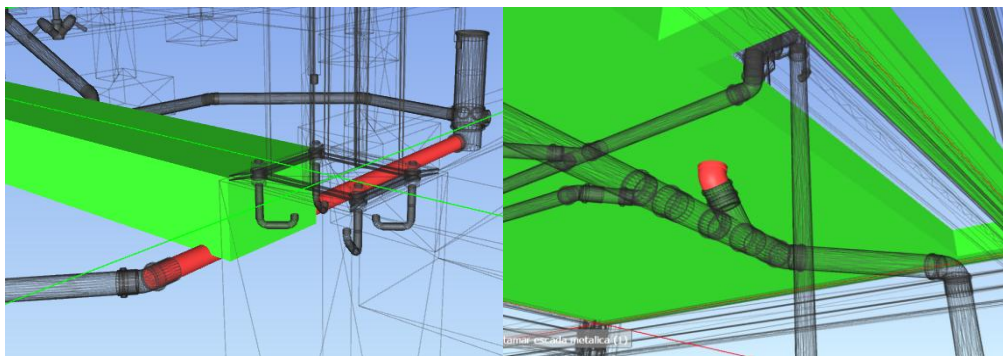


Figura 2: Relatório de conflitos entre estrutural e hidrossanitário. Fonte: Os autores (2026).

O software Autodesk Navisworks identificou automaticamente 58 conflitos diferentes entre os dois projetos, sendo 10 deles de possíveis correções, como tubulação passando em vigas e pilares. Os demais foram considerados parte do projeto, como tubulação de vaso sanitário ultrapassando laje.



Figuras 3 e 4: Interferência entre os modelos. Fonte: Os autores (2026).

4.2. Extração de quantitativos para a plataforma One Click LCA

Na plataforma do One Click LCA, cada material a ser considerado na ACV foi identificado e organizado pelo próprio plug-in, com diferentes unidades adotadas para cada categoria e tipo de material (unidade, comprimento, área e volume), considerando apenas os elementos estruturais do projeto e os elementos do sistema hidrossanitário. Foram identificados 93 materiais, categorizados em diferentes classes, são elas: elementos de fundação, vigas, pilares, paredes externas e sistemas.

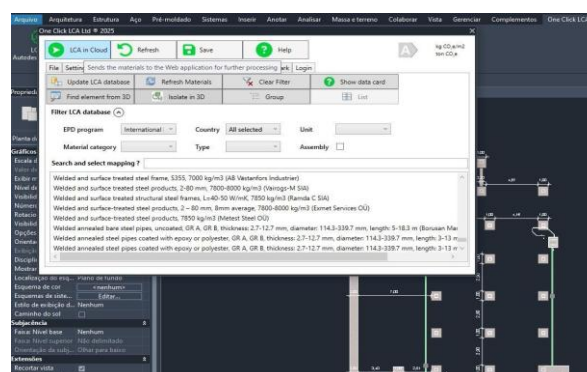


Figura 5: Importação dos dados do Revit pelo plug-in One Click LCA. Fonte: Os autores (2026).

4.3. Resultado dos cálculos no One Click LCA

O Design 1, sem compatibilização, apresentou um Potencial de Aquecimento Global total de $9,49 \times 10^4$ kgCO₂e, ou 379 kgCO₂e/m², sendo que 8×10^4 kgCO₂e foram calculados para as etapas de produção, A1-A3, do ciclo de vida da edificação, e $7,85 \times 10^3$ kgCO₂e para as etapas A4 e A5.

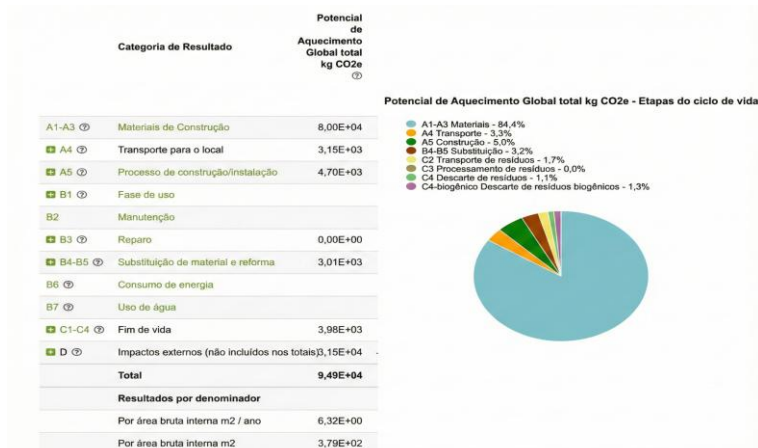


Figura 6: Adaptação dos resultados gerados para o Design 1. Fonte: One Click LCA (2026).

Enquanto o Design 2 apresentou um total de $7,82 \times 10^4$ kgCO₂e de emissão, ou 313 kgCO₂e/m², sendo $7,16 \times 10^4$ kgCO₂e nas etapas A1-A3, e $2,94 \times 10^3$ kgCO₂e nas etapas A4 e A5. As etapas B1 à C4 foram calculadas de acordo com parâmetros da própria plataforma do One Click LCA, que foram padronizados para os dois cenários.

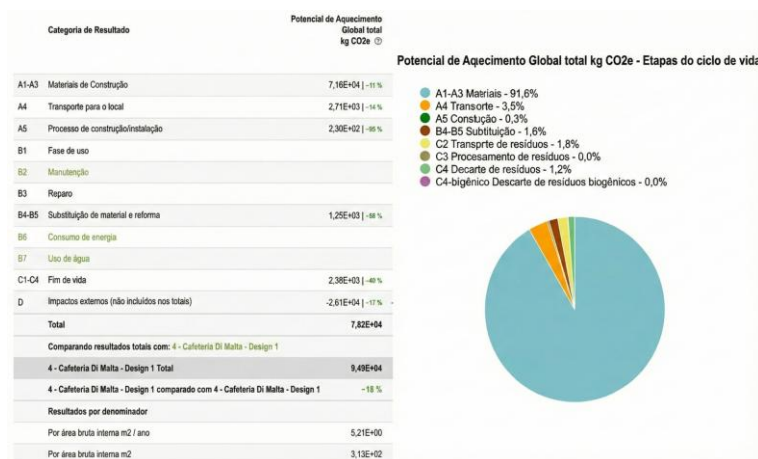


Figura 7: Adaptação dos resultados gerados para o Design 2. Fonte: One Click LCA (2026).

Para ambos os cenários, os materiais que registraram os maiores indicadores de Potencial de Aquecimento Global foram elementos estruturais de concreto (65%) e aço (25%), seguidos pelos materiais hidrossanitários (6%).

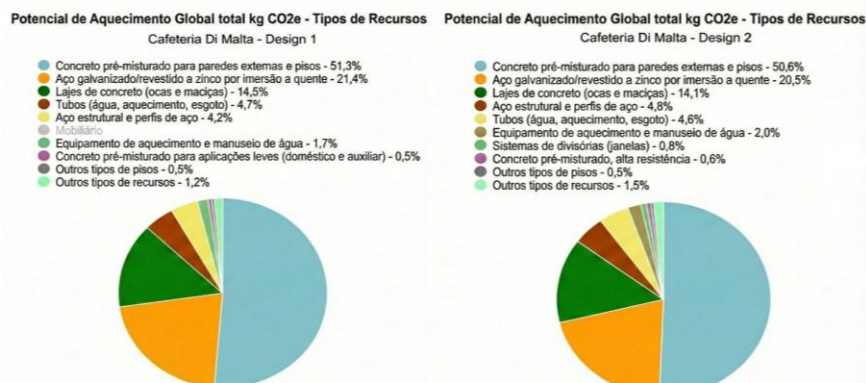


Figura 8: Adaptação dos gráficos de percentual de contribuição dos materiais. Fonte: One Click LCA (2026).

5. Análises dos Resultados e Discussões

Os resultados indicaram que o Design 2, representando um cenário com compatibilização dos projetos, apresentou uma redução de aproximadamente 18% nas emissões totais de carbono em relação ao Design 1. Essa redução evidencia um impacto significativo da compatibilização de projetos sobre o desempenho ambiental da edificação, considerando que a redução observada não decorre de alterações geométricas no modelo, mas sim de ajustes relacionados às perdas associadas à execução.

Considerando a tipologia e o escopo do projeto analisados, os valores obtidos de 379 kgCO₂e/m² para o Design 1 e 313 kgCO₂e/m² para o Design 2 estão em desacordo com estudos de caso semelhantes dispostos na literatura, como o de Ma, Azari e Elnimeiri (2024), que analisaram um edifício com mais de 137 mil m² de área total e, considerando apenas o projeto estrutural, obtiveram um potencial de 420 kgCO₂e/m². Ao detalharmos ambos os projetos, o presente estudo de caso demonstra uma variedade de materiais, contabilizando elevadores, estrutura metálica e de concreto, além ainda do cálculo da parte hidrossanitária do projeto. Portanto, apesar da grandiosidade do projeto de um edifício apresentar valores de emissão semelhantes ao de uma quadra poliesportiva, essa proximidade nos índices por área construída é justificada pela diferença nas fronteiras do sistema adotadas em cada análise.

Além disso, a pesquisa demonstrou um impacto expressivo da antecipação de interferências foi observado na etapa A5 (construção e instalação), que registrou uma redução de 95% no Potencial de Aquecimento Global. Segundo One Click LCA (2015), essa etapa abrange não só o uso de energia para a montagem da obra, mas essencialmente as emissões geradas pelo descarte e transporte de resíduos provenientes de retrabalhos. Logo, a eliminação de conflitos de projeto tende a reduzir significativamente essas emissões. Contudo, a magnitude dessa redução pode variar de acordo com o contexto construtivo, o nível de maturidade BIM e o tipo de edificação. Em um cenário prático, a redução de emissões na fase A5 através do BIM e ferramentas como *clash detection* possivelmente continuaria sendo ambientalmente substancial – entre 40% e 45% do

volume físico de resíduos de construção (HASAN. 2022) – mas a eficiência quase absoluta (95%) gerada pelo ajuste paramétrico está distante da realidade empírica.

Ademais, a diminuição de 11% nas emissões das etapas A1-A3, tendo em vista que o estudo se concentra nas emissões incorporadas associadas aos materiais, demonstra que o impacto da compatibilização retroage na cadeia de suprimentos, diminuindo o quantitativo efetivo de extração e fabricação de insumos. Kumar et al. (2025) e Silva (2025) destacam que as fases iniciais do ciclo de vida são responsáveis pela maior parcela das emissões em edificações. Portanto, a resolução antecipada das interferências, conforme evidenciado no Design 2 deste estudo, resulta diretamente em uma menor emissão de gases ao meio ambiente.

Do ponto de vista prático, os resultados indicam ainda que a adoção de processos de compatibilização em ambiente BIM pode ser considerada uma estratégia de baixo custo e alto impacto para a redução de emissões na construção civil, especialmente em projetos de pequeno e médio porte, devido a duas frentes vitais: a otimização do consumo de matéria-prima na fase de produto (A1-A3) e a mitigação da geração não planejada de resíduos de demolição e transporte emergencial durante a execução (A4-A5).

Em suma, a utilização do One Click LCA integrada ao modelo BIM foi determinante para a extração de quantitativos e a padronização dos cálculos ambientais, reduzindo a subjetividade associada a estimativas manuais. Assim como o de Marrero et al. (2020) e Röck et al. (2018) já apontavam nos estudos, tal integração entre BIM e ACV aumenta consideravelmente a eficiência dos processos de avaliação ambiental e facilita a incorporação de critérios de sustentabilidade, principalmente nas fases iniciais de projeto, nas quais o potencial de influência sobre o desempenho ambiental é maior.

6. Conclusão

Os resultados do presente estudo demonstram que a utilização e a integração entre as metodologias BIM e ACV são eficazes na redução do consumo de recursos materiais, na geração de resíduos e na emissão de carbono quando empregadas na construção civil.

A redução de 18% observada entre os valores de kgCO_2e totais entre os dois cenários pré-compatibilização e pós-compatibilização evidencia que a implementação da metodologia BIM aliada a ferramentas como One Click LCA e a Avaliação do Ciclo de Vida resulta em ganhos ambientais relevantes.

Além disso, a utilização da integração entre BIM e ACV permite a padronização dos quantitativos e a redução de erros associados à estimativa manual de volumes e massas de material, e por este motivo o uso desse método tem um grande potencial no apoio à tomada de decisões de sustentabilidade nos projetos de engenharia.

Apesar de os resultados de Potencial de Aquecimento Global obtidos neste estudo divergirem de estimativas encontradas na literatura para casos semelhantes, os resultados indicam que ao abranger projetos estruturais, hidrossanitários e sistemas relevantes, como elevadores, as metodologias BIM e ACV combinadas trazem impactos ambientais

significativos quando adotadas no projeto analisado. Em suma, os resultados obtidos no presente estudo corroboram a importância e vantagens da adoção de ferramentas de modelagem 3D para o alcance de projetos ecologicamente sustentáveis.

7. Referências

- [1] AAFTAB, Usman; JALEEL, Farrokh; ASLAM, Mughees; HAROON, Muhammad; MANSOOR, Rafiq. Building Information Modeling (BIM) application in construction waste quantification: a review. **Engineering Proceedings**, Basel, v. 75, n. 8, p. 1–8, 2024.
- [2] CARVALHO, Aldo R. D. et al. Proposition of geopolymers obtained through the acid activation of iron ore tailings with phosphoric acid. **Construction and Building Materials**, 3 Novembro 2023.
- [3] COSTA, Luciana Dias Martins. Compatibilização de projetos e gerenciamento de resíduos como condições primordiais para a sustentabilidade das construções. Belo Horizonte, 2010. 73 f. (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- [4] DERVISHAJ, Arlind; GUDMUNDSSON, Kjartan. From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment. **Resources, Conservation and Recycling**, Janeiro 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107291>>. Acesso em: 23 Março 2026.
- [5] FAGUNDES, Milena F.; TAVARES, Sergio F. Avaliação da redução de emissões de CO₂ pela substituição de materiais com suporte de BIM e ACV. **VI Encontro Latino-americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (euroELECS)**. [S.l.]: [s.n.]. 2025.
- [6] FILONCHYK, Mikalai et al. Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. **Science of The Total Environment**, 20 Julho 2024.
- [7] HASAN, Rakibul. Quantification of construction waste through BIM. **Journal of Technology Management and Business**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 62-77, 2022.
- [8] HOSNY, Omar; KHALIL, Ahmed; EL-DASH, Khaled. Impact of BIM-based clash detection on construction waste reduction. **ITcon – Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 28, p. 17–34, 2023.
- [9] KUMAR, Deepak et al. Life cycle assessment in the early design phase of buildings: strategies, tools, and future directions. **Buildings**, [S.l.], v. 15, n. 10, p. 1612, 2025.
- [10] LAGARDE, Clémence et al. Assessing and comparing the environmental impact of smart residential buildings: A life cycle approach with uncertainty analysis. **Journal of Cleaner Production**, Agosto 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143004>>. Acesso em: 23 Março 2026.
- [11] LI, Chaohui et al. Carbon footprint of the construction sector is projected to double

by 2050 globally. **Communications Earth & Environment**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 831, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02840-x>>. Acesso em: 28 Março 2026.

[12] MA, Lijian; AZARI, Rahman; ELNIMEIRI, Mahjoub. A Building Information Modeling-Based Life Cycle Assessment of the Embodied Carbon and Environmental Impacts of High-Rise Building Structures: A case study. **Sustainability**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 569, 2024.

[13] MARRERO, Madelyn *et al.* BIM-LCA integration for the environmental impact assessment of the urbanization process. **Sustainability**, [S.l.], v. 12, n. 10, p. 4196, 2020.

[14] MATTANA, Leticia; LIBRELOTTO, Lisiane I.; GNECCO, Verônica M. A sustentabilidade econômica da edificação através da compatibilização de modelos BIM. **VII ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto**. Florianópolis: [s.n.]. 2019.

[15] One Click LCA (2015). Helsinki: One Click LCA Ltd.

[16] ORTIZ, Oscar; CASTELLS, Francesc; SONNEMANN, Guido. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, Janeiro 2009.

[17] PRYSHLAKIVSKY, Jonathan; SEARCY, Cory. Fifteen years of ISO 14040: a review. **Journal of Cleaner Production**, 15 Outubro 2013.

[18] RÖCK, Martin *et al.* LCA and BIM: Integrated assessment and visualization of building elements' embodied impacts for design guidance in early stages. **Procedia CIRP**, [S.l.], v. 69, p. 218-223, 2018.

[19] SANTOS, Lucas A.; FAMA, Rubens A. Redução de custos na construção civil por meio da compatibilização de projetos em protótipo virtual. **Anais do Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)**, p. 62–77, 2022.

[20] SILVA, MIGUEL C. E. **Modelação paramétrica BIM para Análise de Ciclo de Vida**. Departamento de Engenharia Civil e Georrecursos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. 2025.

[21] TUSHAR, Zulficar N.; BARI, A. B. M. M.; KHAN, Muztoba A. Circular supplier selection in the construction industry: A sustainability perspective for the emerging economies. **Sustainable Manufacturing and Service Economics**, Abril 2022.